

林業用鋼索の疲労に関する研究 第4報

作業索 (6×Fi (25) JIS 12号) の疲れ寿命試験

機械第1研究室⁽¹⁾・上松運輸営林署ロープ試験室⁽²⁾

Forest Machinery 1st Research Unit and Wire Rope Testing Team,

Agematsu Transportation District Forest Office :

Study on the Fatigue of Wire Rope for Logging (IV)

Fatigue life of operating rope (6×Fi (25) JIS No. 12)

要 旨 : 繰り返し曲げを受けるワイヤロープの疲れ寿命を知るために、疲れ試験機を用いて同一条件のもとで、S曲げ疲れ試験を実施した。試験の計画と具体的な方法は第1報の結果にもとづいており、本報で試験の対象としたワイヤロープの構成は6×Fi (25) (JIS 12号) で、直径は12mmである。試験条件は張力350kg、滑車直径190mmであり、第3報に報告した6×19 (JIS 3号) の場合と同じである。試料の総数は製造会社9社の製品185本である。この試験からつぎのような結果を得た。

上記試験条件におけるこのワイヤロープの疲れ寿命の平均値は、データ (I) では7,653回、データ (II) では9,560回であった。この差は素線断線の検査方法の差によるものである。いずれの場合も変動係数は約20%であった。寿命値の確率密度関数の型として正規分布とワイブル分布を選んで、適合性の検定を比較した。一定回数 (8,000回) の曲げを与えた後の残留強さの平均値は 5.07×10^3 kgであった。寿命値および一定回数の曲げを与えた後の残留強さから、ワイヤロープの耐疲労性を製造会社間で比較し有意な差があることを認めた。また疲れの進行にともなう素線断線の発生経過と断線の種類について、視測記録を得た。

目 次

はじめに	50
1. 試験方法	50
1.1 試験装置と試験条件	51
1.2 試験・検査項目	51
1.3 供試ワイヤロープ	51
2. 試験結果	60
3. 考察	61
3.1 寿命試験結果の整理	61
3.2 寿命値の分布	61
3.3 寿命に達したワイヤロープの残留強さ	61
3.4 8,000回往復試験後の残留強さ	63
3.5 素線断線の発生経過	66
3.6 寿命と8,000回往復後の残留強さの製造会社間の比較	67
3.7 ワイヤロープの耐疲労性に影響をおよぼす要因	69
むすび	70
引用文献	70
Summary	71

は じ め に

架空線集運材装置に使用されるワイヤロープについて、その疲れ寿命を求めるための疲れ試験機と試験方法、およびそれらによる試験結果は第1報¹⁾と第2報²⁾に報告した。また第3報³⁾では、作業索として用いられる6×19の構成をもつワイヤロープの、繰り返し引張り曲げ疲れ試験の結果を報告した。本報告では、6×Fi(25)の構成をもつワイヤロープで、直径12mmのものを試料として、第3報の場合と同様の、繰り返し引張り曲げ疲れ試験を行った結果について述べる。

1章では、試験の方法と供試ワイヤロープについて述べ、2章では、疲れ試験と測定検査の結果を一括して示した。

3章では、試験結果の分析をし、寿命値の確率分布の型、残留強さ、製造会社間の耐疲労性の比較、および寿命に影響を及ぼす要因の各項目について述べた。これらの項目は第3報における6×19の場合と同一としたので、異った種類のワイヤロープの特徴を比較対照することができる。

本報告にまとめたデータは、林野庁が実施している一連のワイヤロープ疲れ試験の結果の一部をなしている。この試験の設計と試験の方法の決定については、林業試験場機械第1研究室が参画し、疲れ試験と測定・検査の実施は、長野営林局上松運輸営林署に設けられた、ロープ試験室で行ったものである。

本報告をとりまとめるにあたり、長期間にわたりこの試験の遂行にご尽力された、関係各位に対し敬意を表するとともに、データの公表をお許しいただいたことに感謝いたします。また、有益なご助言とご指導あるいはご協力をいただきました多数の方々に対し、深く感謝の意を表します。

試験計画	林業試験場機械化部		
	機 械 科 長	上 田	実
	機 械 第 1 研 究 室	富 永	貢
	主 任 研 究 官		
試験実施	長野営林局上松運輸営林署		
	ロ ー プ 試 験 室	井 上	明
		原	博 久
		大 畑	敏 夫
		平 山	実
		岩 原	重 雄
		林	悦 男
とりまとめ	林業試験場機械化部		
	機 械 第 1 研 究 室 長	柴 田	順 一

1. 試 験 方 法

構成が6×Fi(25) o/o で示されるワイヤロープで、直径12mmのものを試験の対象とした。試験方法は、第3報³⁾のワイヤロープ6×19の場合と同じである。したがって、試験装置および試験検査項目、疲れ寿命の判定基準などは第1報および第3報³⁾に示したとおりである。ここではその概略を示す。ただし、試験項目の中で4,000回往復試験については、今回の6×Fi(25)ワイヤロープでは8,000回往復試験とした。

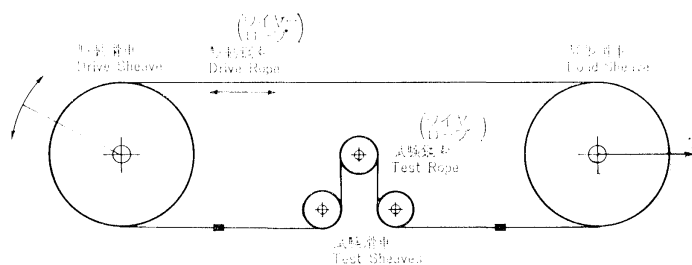


Fig. 1 疲れ試験機

Schematic of the wire rope fatigue testing machine.

1.1 試験装置と試験条件

供試ワイヤロープは、ピッチダイア 190 mm の滑車 3 個で構成される S 曲げ装置を通して、毎分 35 往復する。ワイヤロープはその中央部分 125 cm が滑車と接する。またワイヤロープには 350 kg の張力が負荷されている。

1.2 試験・検査項目

① 疲れ試験

①-1 寿命試験 ワイヤロープ 1 より長さの間に、構成索線数の 10% の断線が生じるまでの往復回数 (寿命値) を求める。6×Fi (25) ワイヤロープでは、フィラー線を除く 114 本を構成索線とみなし、1 より長さの間に 12 本の索線断線をもって、寿命の判定基準とする。

①-2 8,000 回往復試験 寿命試験と同じ試験条件で、8,000 回往復の繰り返し曲げを与える。索線断線の発生を計数するとともに残留強さを測定する。

② ワイヤロープ切断試験 疲れ試験の終わったワイヤロープと新品のワイヤロープについてその切断荷重を測定する。

③ 外観検査 うねり、ストランド・索線の飛び出しと落ち込み、型削れ、よりきず、錆などの外観上の欠点の有無とその程度を調べる。

④ 製品検査 ワイヤロープ直径、より長さ、型付率の測定。

⑤ 索線検査 索線直径の測定、顕微鏡による索線表面はだの検査、および試験機による切断試験と捻回試験。

⑥ 金属組織検査 任意に選んだ 1 ストランドの 19 本の索線について、縦断面において脱炭の程度を調べる。

1.3 供試ワイヤロープ

主として国有林製品生産事業で購入された 6×Fi (25), 12 mm ワイヤロープの中から、1 サンプル 30 m を試料として集めた。一部のものは製造会社から直接購入して試料とした。索線抗張力にもとづく種別は、ほとんどのものが A 種であり、2 種あるいは B 種と表示したものが少数含まれていた。しかし、索線の引張試験から抗張力を求めた結果は、とくに他と差があるものは認められなかったので、すべて同一の取り扱いとして試験を行った。

試験の実施時期と試料の数および製造会社の数は、つぎのとおり。

Table 1. 試 験 結 果
Result showing fatigue life and other

試 料 Sample	寿 命 試 験 Fatigue life test				8,000 回 往 復 試 験 8,000 cycles fatigue test				新 New wire
	往復回数 Cycles to life (回)	伸 び 率 Elonga- tion (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切 断 エネルギー Breaking energy (kg·m/m)	断 線 数 Number of broken wires (本)	伸 び 率 Elonga- tion (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切 断 エネルギー Breaking energy (kg·m/m)	切断荷重 Breaking force ($\times 10^3$ kg)
1-2M-3	5,000	0.55	3.84	7	80 (0)	0.73	2.35	10	9.29
4	6,000	0.73	6.05	50	80 (0)	0.95	0.0	0	8.85
5	7,000	0.45	6.57	55	60 (2)	0.55	2.79	11	9.68
6	6,500	0.41	6.10	53	33 (3)	0.41	5.60	45	9.20
7	7,600	0.55	6.85	69	25 (4)	0.50	6.05	50	9.14
11	8,500	0.36	5.32	41	7 (3)	0.45	5.48	44	8.67
12	9,500	0.55	6.58	79	11 (0)	0.55	6.20	56	8.75
13	5,000	0.64	6.40	60	80 (5)	0.91	1.69	7	8.92
15	7,000	0.68	6.17	53	30 (0)	0.55	5.00	35	8.55
2-2M-1	6,000	0.59	4.04	26	80 (0)	1.18	8.00	30	8.75
1-2N-1	9,000	0.91	3.81	18	20 (0)	0.95	4.78	31	9.40
2	7,000	0.64	3.44	15	8 (7)	0.54	6.90	64	9.50
3	7,500	0.45	5.40	33	13 (4)	0.45	6.88	63	9.10
4	8,000	0.86	5.18	29	10 (5)	0.73	6.96	62	9.31
5	7,000	0.64	5.38	27	22 (12)	0.64	5.77	43	9.38
6	7,500	0.45	5.93	39	28 (24)	0.50	4.38	22	9.43
7	6,500	0.45	6.32	48	50 (2)	0.68	1.59	5	9.43
8	6,500	0.41	8.10	106	32 (15)	0.50	4.05	18	9.36
9	10,100	0.36	6.86	69	14 (7)	0.27	6.63	63	8.71
10	9,200	0.41	7.38	84	13 (10)	0.18	7.20	76	8.80
2-2N-1	6,700	0.50	5.29	33	40 (0)	0.64	2.35	10	9.13
1-2P-1	8,150	0.56	7.57	87	30 (0)	0.68	3.55	16	9.43
2	7,500	0.55	6.77	65	10 (0)	0.50	7.83	102	9.50
3	8,000	0.64	5.36	38	27 (0)	0.91	4.14	24	9.10
4	7,500	0.86	7.67	100	8 (0)	0.68	6.79	68	9.15
5	6,100	0.91	6.79	61	31 (3)	0.77	5.79	44	9.28
6	7,000	0.82	7.03	70	40 (0)	0.91	3.89	20	9.45
7	6,000	0.68	5.81	43	1 (0)	0.45	7.00	70	—
8	7,000	0.86	6.08	53	3 (2)	0.50	6.89	75	—
17	8,800	0.73	6.75	70	9 (0)	0.59	6.90	80	8.82
18	7,000	0.59	6.48	65	27 (3)	0.68	4.81	33	8.65
19	7,500	0.73	6.12	56	60 (0)	0.77	2.21	7	9.13
2-2P-1	9,500	0.73	5.71	46	35 (1)	0.73	3.06	18	9.67
2	7,500	0.68	5.40	46	28 (0)	0.68	4.32	32	9.50
4	9,700	0.73	7.25	81	2 (0)	0.36	8.47	143	9.39
5	7,600	0.73	6.97	74	19 (0)	0.50	5.34	43	9.40
6	7,000	0.82	6.89	71	14 (0)	0.73	4.67	35	9.16
7	7,800	0.77	6.19	51	6 (0)	0.73	7.44	90	9.21
8	7,750	0.55	7.05	77	64 (0)	0.82	1.97	11	9.27
9	6,700	0.64	6.47	66	12 (0)	0.64	5.41	41	8.86
10	9,200	0.68	6.41	65	28 (0)	0.68	3.70	27	8.90
11	6,450	0.64	7.07	76	22 (0)	0.64	5.38	47	9.00
12	8,000	0.73	6.78	77	10 (0)	0.82	6.66	69	9.18
13	6,500	0.73	5.90	52	42 (0)	0.82	3.92	26	9.44
14	6,400	0.95	6.52	63	54 (0)	0.86	2.16	10	9.45
15	6,800	0.86	6.48	66	38 (0)	0.64	4.32	32	9.45
16	6,250	0.68	6.50	62	53 (0)	0.64	2.22	11	8.73

(データ I)

measured values (Data I)

品切断試験 rope tensile test		製 品 検 査 Wire rope inspection																	
伸び率 Elongation (%)	切 断 エネルギー Breaking energy (kg·m/m)	鋼索直径 Wire rope diameter (mm)	ピ ッ チ Wire rope pitch (mm)	型 付 率 Preform- ing per- centage (%)	外層線の径 Diameter of outlayer (mm)	内層線の 増 径 率 Enlarging ratio of innerlayer (%)	脱 炭 Decarburization					表面あらさ Roughness of wire surface							
							A	B	C	D	E	A	B	C	D	E			
4.46	275	12.64	78.3	93.2	0.794	2.77	15	4				13	5	1					
4.98	295	12.74	78.4	94.0	0.790	3.54	11	7			1	17	1	1					
4.31	263	12.63	77.2	92.7	0.795	2.64	13	6				8	9	2					
4.41	266	12.49	77.3	92.7	0.792	3.28	6	13				15	3	1					
4.49	259	12.72	77.0	93.9	0.793	2.77	16	2	1			10	8	1					
4.23	234	12.58	78.6	91.2	0.792	2.78	6	10	3			15	4						
4.08	222	12.64	77.8	91.8	0.787	2.67	7	9	3			5	2	10	1	1			
4.37	245	12.74	79.0	92.3	0.794	1.76	12	6	1			17	2						
4.20	218	12.77	78.9	91.5	0.796	1.63	10	7	1	1		12	7						
4.22	239	12.84	78.6	91.0	0.796	1.51	5	13	1			15	3	1					
4.73	283	12.74	80.1	88.1	0.762	9.84	1	6	9	3		4	6	7	2				
4.30	275	12.69	80.3	89.1	0.778	7.71	6	8	4	1		2	5	3	6	3			
3.37	195	12.36	80.5	90.4	0.771	7.13	6	5	6	2		3	8	7	1				
4.21	248	12.71	80.1	88.7	0.761	9.86	3	8	6	2		3	9	6	1				
4.30	260	12.65	80.1	90.0	0.776	7.99	2	7	10			4	5	6	4				
4.08	257	12.46	80.4	89.3	0.771	6.87	6	4	5	4		3	10	3	2	1			
4.02	255	12.47	80.5	89.7	0.770	7.14	7	4	5	1	2	2	3	5	8	1			
3.94	243	12.42	80.7	90.3	0.771	7.65	3	9	5	2		9	7	3					
3.78	213	12.35	79.2	89.9	0.781	4.48	4	9	4	2		1	7	5	6				
3.75	210	12.48	79.0	88.1	0.781	6.79	7	8	4			2	3	3	11				
3.99	226	12.64	78.8	88.0	0.778	7.33	9	10				15	1	2	1				
4.00	238	12.62	76.1	90.1	0.793	6.81	2	10	4	3		1	8	4	4	2			
4.22	261	12.69	75.5	89.4	0.791	6.70	1	5	8	4	1	12	3	4					
4.20	245	12.77	75.5	90.1	0.795	6.04	2	8	7	2		11	2	4	2				
4.66	227	12.92	74.7	91.3	0.791	5.82	2	7	5	4	1	10	7	2					
5.01	244	12.91	74.9	89.0	0.785	6.11	8	4	5	2		6	8	2	3				
4.18	230	12.72	75.9	89.4	0.787	5.46	7	4	5	3		3	14	1	1				
—	—	12.70	75.8	92.0	0.793	6.31	3	10	2	3	1	4	7	2	4	2			
—	—	12.92	76.4	90.1	0.790	6.46	1	8	8	2		3	11	1	3	1			
4.52	258	12.70	78.3	94.2	0.785	6.11	6	6	4	3		4	1	5	9				
4.22	231	12.44	76.2	90.2	0.784	6.51	5	8	3	3		6	6	7					
4.87	289	12.84	76.3	90.7	0.794	5.67	9	6	3	1		1	7	6	4	1			
4.54	274	12.64	72.0	89.2	0.783	5.11	7	4	8			18		1					
4.94	301	12.68	75.3	90.1	0.792	5.68	1	5	9	3	1	11	4	3	1				
4.51	228	12.87	76.7	93.2	0.783	7.02	1	9	9			18	1						
5.11	317	12.69	76.4	92.7	0.786	6.62	4	8	7			15	2	2					
4.52	249	12.87	76.8	90.4	0.786	6.87	6	8	4	1		16	3						
4.67	263	12.93	77.0	90.2	0.783	7.41	2	13	4			15	3	1					
4.64	267	12.72	76.1	93.0	0.786	7.00	7	10	2			17	2						
4.18	211	12.83	75.9	90.5	0.790	6.20	14	5				16	3						
4.10	221	12.78	75.8	90.1	0.789	6.21	5	12	2			14	5						
4.46	254	12.70	75.6	91.8	0.792	5.93	13	3	3			17	1	1					
4.93	290	12.79	75.4	89.7	0.793	5.93	8	9	2			17	2						
4.88	291	12.80	76.0	91.6	0.786	6.49	2	14	3			19							
4.72	271	12.92	75.7	93.0	0.785	7.13	3	8	7	1	18	1							
4.56	253	12.91	75.7	92.0	0.782	7.16	2	9	5	3		18	1						
3.67	186	12.78	76.2	92.2	0.789	6.46	12	6		1		18		1					

Table 1. (つづき) (Continued)

試料 Sample	寿命試験 Fatigue life test				8,000回往復試験 8,000 cycles fatigue test				新 New wire
	往復回数 Cycles to life (回)	伸び率 Elongation (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネルギー Breaking energy (kg·m/m)	断線数 Number of broken wires (本)	伸び率 Elongation (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切断エネルギー Breaking energy (kg·m/m)	切断荷重 Breaking force ($\times 10^3$ kg)
2-2P-17	7,200	0.82	6.18	56	61 (0)	0.82	2.84	15	8.62
18	9,500	0.86	4.82	31	1 (1)	0.68	8.46	136	9.35
19	8,200	0.82	6.62	52	21 (13)	0.45	7.08	75	8.70
20	6,800	0.59	7.97	105	3 (2)	0.50	6.08	54	9.18
21	8,100	0.64	7.19	72	12 (11)	0.50	6.43	58	9.48
22	10,500	1.00	6.53	66	4 (0)	0.68	7.47	90	8.99
23	8,600	0.77	7.47	81	7 (6)	0.59	7.21	75	9.19
24	7,700	0.59	4.90	30	25 (1)	0.64	4.70	32	9.02
25	8,100	0.36	6.10	56	16 (4)	0.36	6.68	67	9.18
1-2R-3	7,600	0.64	6.10	50	3 (0)	0.50	6.34	52	9.49
4	10,400	0.82	6.64	54	2 (0)	0.73	8.92	148	—
6	8,600	0.77	7.59	81	3 (1)	0.73	8.91	149	9.13
14	8,600	0.73	6.78	56	11 (0)	0.55	6.91	65	9.67
15	8,800	0.68	7.12	67	7 (3)	0.59	8.29	114	9.59
16	9,000	0.77	7.07	63	5 (0)	0.59	7.00	64	9.30
17	7,800	0.73	6.52	60	5 (0)	0.64	8.38	123	9.68
18	10,300	0.73	5.38	39	7 (0)	0.68	6.88	66	9.98
19	7,550	0.50	5.32	38	43 (3)	0.41	3.66	19	9.50
2-2R-1	9,200	0.77	6.40	57	7 (0)	0.95	6.69	66	8.97
8	6,700	0.73	7.51	88	22 (0)	0.75	4.82	32	9.26
9	7,050	0.68	7.58	87	50 (0)	0.64	5.48	42	9.30
10	7,600	0.55	7.02	141	9 (0)	0.41	6.79	64	9.28
11	8,550	0.77	7.06	70	18 (0)	0.55	5.92	50	9.34
12	5,350	0.50	7.32	71	70 (4)	0.64	2.21	7	9.47
1-2S-6	11,000	0.41	5.72	44	7 (1)	0.36	7.50	92	—
7	8,600	0.27	7.54	93	12 (4)	0.27	7.51	99	—
10	10,600	0.50	7.33	73	3 (1)	0.45	8.10	107	9.08
16	7,400	0.27	7.07	78	11 (5)	0.36	7.35	97	9.03
21	6,600	0.41	7.79	115	29 (1)	0.36	6.59	68	9.02
25	6,100	0.32	7.93	119	18 (6)	0.27	7.12	85	8.93
26	7,550	0.27	7.18	79	35 (14)	0.23	5.52	42	9.05
27	7,250	0.32	7.23	83	50 (21)	0.41	5.88	58	9.05
2-2S-1	6,300	0.45	7.23	118	21 (5)	0.55	4.42	21	8.89
2	6,200	0.45	7.38	113	10 (4)	0.36	6.20	53	8.82
3	6,450	0.32	7.81	99	13 (3)	0.32	7.67	106	9.23
4	6,050	0.45	7.74	122	32 (9)	0.73	5.44	49	9.10
2-2T-1	7,200	0.73	7.77	94	50 (0)	0.64	4.81	31	9.33
2	6,000	0.45	4.59	27	50 (0)	0.50	3.19	14	9.31
3	6,650	0.45	6.39	50	15 (2)	0.41	5.75	44	9.35
4	5,000	0.41	6.72	36	80 (2)	0.77	1.00	4	9.43
5	4,700	0.55	7.22	74	80 (0)	0.73	1.49	16	9.41
2-2U-1	9,500	0.41	6.40	56	10 (8)	0.27	7.28	97	8.87
2	5,500	0.50	6.22	62	70 (1)	0.68	2.31	11	8.66
3	9,700	0.55	5.49	45	2 (2)	0.45	7.28	89	8.73
2-2W-1	10,800	0.55	6.40	55	32 (0)	0.59	2.80	13	8.58

(注) 表中の () は断線の数を示す。

品切断試験 rope tensile test		製 品 検 査 Wire rope inspection																	
伸び率 Elongation (%)	切 断 エネルギー Breaking energy (kg·m/m)	鋼索直径 Wire rope diameter (mm)	ピ ッ チ Wire rope pitch (mm)	型 付 率 Preform- ing per- centage (%)	外層線の径 Diameter of outlayer (mm)	内層線の 増径率 Enlarging ratio of innerlayer (%)	脱 炭 Decarburization					表面あらし Roughness of wire surface							
							A	B	C	D	E	A	B	C	D	E			
3.73	183	12.79	76.0	91.5	0.783	8.68		5	6	7	1		18	1					
4.15	234	12.86	77.4	88.1	0.784	7.14		8	11					17	2				
3.20	154	12.73	75.9	82.6	0.784	6.76		1	9	9				16	2	1			
4.41	262	12.54	74.6	84.9	0.787	6.86		5	13	1				13	6				
4.66	287	12.81	76.0	85.6	0.791	5.56		9	9	1				12	7				
4.01	215	12.84	76.7	91.0	0.786	7.00		5	13	1				7	12				
3.98	230	12.66	77.0	85.5	0.789	6.21		4	8	5	2		4	5	9	1			
4.00	240	12.73	74.5	86.4	0.787	6.48		9	10					6	13				
4.29	254	12.59	74.1	90.2	0.789	6.21		3	14	2				6	13				
4.18	252	12.69	78.6	90.6	0.780	8.85	15	4						3	16				
—	—	12.90	77.6	88.9	0.781	8.07	8	11						2	10	7			
3.40	196	12.82	79.2	97.0	0.769	7.93	9	9	1					1	13	5			
4.13	249	12.50	79.4	90.6	0.767	7.95	8	9	2					5	9	1	4		
4.25	253	12.68	77.4	82.0	0.769	7.67	7	12						3	11	4	1		
—	—	12.66	78.1	90.2	0.765	8.24	8	9	1	1				4	14	1			
4.56	274	12.63	77.4	92.8	0.770	7.14	10	8	1					3	16				
4.56	286	12.70	78.6	92.8	0.767	7.56	12	6	1					7	11	1			
4.56	285	12.58	79.6	88.1	0.774	6.84	8	9	2					3	14	2			
3.39	179	12.76	78.2	86.1	0.761	8.41	9	9	1					19					
4.22	242	12.91	79.1	97.3	0.803	2.99	16	3						4	10	5			
4.16	248	12.80	79.8	96.8	0.801	3.50	12	3	3	1				7	8	3	1		
4.21	251	12.70	80.0	95.2	0.801	3.37	16	3						1	6	9	3		
4.35	253	12.93	79.5	95.8	0.802	3.49	15	2	2					5	4	7	3		
4.41	269	12.81	80.0	97.8	0.799	4.13	13	4	2					13	6				
—	—	12.64	79.4	91.1	0.798	0.0	7	5	3	1	3			14	2	3			
—	—	12.48	77.3	94.7	0.795	0.13	13	6						8	5	6			
3.52	184	12.57	79.3	89.9	0.799	0.63	10	4	5					11	6	1	1		
4.70	272	12.56	78.9	91.1	0.799	4.51	18	1						8	5	6			
4.49	266	12.65	79.4	93.1	0.789	5.70	16	2	1					3	7	6	3		
4.43	270	12.62	78.8	89.4	0.798	4.89	12	6	1					1	5	6	7		
4.44	276	12.45	78.3	91.2	0.788	5.96	11	8						1	6	12			
4.75	292	12.47	78.0	90.9	0.789	5.70	13	6						1	9	8	1		
5.25	325	12.58	69.3	91.3	0.793	5.80	9	10						9	10				
4.61	269	12.59	70.8	91.3	0.790	6.96	16	2	1					8	10	1			
3.91	226	12.59	80.9	93.0	0.803	3.36	16	3						16	3				
4.97	310	12.70	69.4	92.0	0.875	4.50	6	13						11	6	1	1		
4.52	265	12.88	79.2	93.8	0.801	3.87	15	4						16	2	1			
4.36	274	12.54	82.1	89.9	0.796	4.90	5	6	7	1				19					
4.25	268	12.65	82.7	89.0	0.798	4.01	6	9	4					10	6	3			
4.55	304	12.65	81.0	90.5	0.801	4.24	8	11						19					
4.74	306	12.89	80.4	96.0	0.803	4.36	12	7						12	7				
3.73	211	12.45	75.6	91.6	0.792	6.69		3	12	4				1	10	7	1		
3.97	215	12.60	76.3	92.2	0.788	7.61	1	4	10	2	2			6	4	4	5		
4.19	236	12.45	75.7	90.4	0.790	6.33		8	10	1				1	6	6	6		
4.01	216	12.64	74.8	89.6	0.779	8.60	18	1						9	4	6			

Table 2. 試 験 結 果
Result showing fatigue life and other

試 料 Sample	寿 命 試 験 Fatigue life test				8,000 回 往 復 試 験 8,000 cycles fatigue test				新 New wire
	往復回数 Cycles to life (回)	伸 び 率 Elonga- tion (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切 断 エ ネ ル ギ Breaking energy (kg·m/m)	断 線 数 Number of broken wires (本)	伸 び 率 Elonga- tion (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^3$ kg)	切 断 エ ネ ル ギ Breaking energy (kg·m/m)	切断荷重 Breaking force ($\times 10^3$ kg)
1-2M-1	9,350	0.77	1.72	7	50 (34)	1.00	0.82	2	8.53
2	8,350	0.73	2.18	8	6 (4)	0.45	5.57	43	8.50
8	10,450	0.77	2.95	12	9 (5)	0.55	6.32	52	9.11
9	9,500	0.95	1.29	4	5 (4)	0.73	1.85	5	9.24
10	9,500	1.45	0.95	2	38 (1)	1.14	1.21	4	9.27
2-2M-2	8,560	—	—	—	25 (3)	1.23	1.04	4	8.56
3	9,062	—	—	—	39 (2)	1.32	1.06	5	8.67
4	9,582	—	—	—	5 (4)	1.36	0.77	4	8.66
5	9,667	—	—	—	2 (2)	1.23	0.94	4	8.57
3-2N-1	9,100	0.45	1.70	6	4 (4)	0.77	3.48	13	9.25
2	8,330	0.59	1.95	6	7 (4)	0.27	2.28	8	9.30
3	6,000	0.77	1.20	2	多数	—	—	—	9.49
4	9,150	0.77	0.75	1	31 (29)	1.00	1.70	5	9.44
5	10,100	0.45	3.60	18	1 (1)	0.36	5.54	40	8.92
1-2P-9	7,000	1.18	1.56	5	13 (4)	1.09	1.72	5	8.90
10	10,150	0.59	4.84	28	7 (7)	0.64	7.00	74	8.97
11	10,500	1.09	0.89	2	3 (3)	0.64	6.65	68	8.96
12	9,400	1.09	1.86	6	3 (0)	0.64	4.38	25	9.40
13	8,000	0.86	2.59	12	5 (2)	0.59	4.56	28	8.47
2-2P-27	16,500	0.64	3.36	17	0 (0)	0.55	7.60	94	8.97
28	14,500	0.68	3.42	17	0 (0)	0.59	6.60	61	9.08
29	12,000	0.50	2.00	7	0 (0)	0.36	7.60	92	8.87
30	12,500	1.50	0.96	2	0 (0)	0.73	8.25	111	9.46
31	10,850	0.90	2.94	15	1 (1)	0.59	7.64	90	8.71
32	9,700	—	—	—	—	0.64	7.32	66	9.59
3-2P-1	10,000	0.91	1.20	2	5 (0)	0.36	6.30	55	9.42
2	9,000	0.95	0.96	0	0 (0)	0.64	4.26	20	9.41
3	9,850	1.36	0.60	2	0 (0)	0.68	2.98	11	9.63
4	10,600	0.59	2.42	10	0 (0)	0.45	7.90	109	9.27
5	10,250	0.59	1.50	4	1 (0)	0.45	7.16	73	8.91
3-2Q-1	8,150	1.27	0.98	6	24 (5)	1.09	1.40	7	9.17
2	8,200	1.32	0.83	5	116 (19)	1.45	0.66	2	9.08
3	8,160	1.50	0.80	3	21 (1)	1.45	0.92	3	9.31
4	7,750	1.32	0.80	2	146 (64)	1.41	0.72	2	9.45
5	7,100	1.14	1.10	4	0 (0)	1.05	1.56	5	9.48
1-2R-1	11,000	0.95	0.80	4	9 (2)	0.50	5.70	45	9.43
2	9,600	0.59	5.65	43	7 (6)	0.55	5.40	35	9.40
8	12,500	1.23	1.16	4	0 (0)	0.36	6.64	58	9.54
9	14,000	1.32	0.98	3	0 (0)	0.41	8.12	116	9.57
10	13,700	0.82	2.75	11	0 (0)	0.59	6.02	45	9.47
11	14,600	0.91	2.80	11	0 (0)	0.68	8.92	156	9.30
12	12,300	1.14	2.10	3	1 (1)	0.73	8.13	99	9.50
13	12,100	0.86	3.47	16	0 (0)	0.86	7.85	88	9.29
3-2R-1	11,850	0.64	3.56	19	0 (0)	1.41	7.94	95	9.40
2	9,200	1.09	1.04	1	13 (0)	0.73	2.39	10	9.60
3	10,500	0.73	2.54	10	2 (2)	0.55	4.34	21	9.40
4	9,300	0.45	3.30	14	5 (5)	0.41	3.66	16	9.40

(データ II)
measured values (Data II)

品切断試験 rope tensile test		製 品 検 査 Wire rope inspection														
伸び率 Elongation (%)	切 断 エネルギー Breaking energy (kg·m/m)	鋼索直径 Wire rope diameter (mm)	ピ ッ チ Wire rope pitch (mm)	型 付 率 Preform- ing per- centage (%)	外層線の径 Diameter of outlayer (mm)	内層線の 増 径 率 Enlarging ratio of innerlayer (%)	脱 炭 Decarburization					表面あらし Roughness of wire surface				
							A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
4.57	261	12.57	77.8	92.9	0.750	1.77	5	9	2	3	13	6				
4.11	242	12.66	78.0	91.8	0.790	1.02	13	1	1	4	13	5	1			
3.76	234	12.62	77.5	94.3	0.788	3.05	18	1			14	5				
4.43	268	12.49	78.1	92.6	0.788	3.05	18	1			13	3	1	2		
4.73	289	12.82	78.9	93.2	0.791	2.91	12	7			9	10				
4.75	281	13.01	78.9	91.7	0.794	1.89	7	7	5			13	6			
4.89	264	12.96	78.2	91.2	0.793	2.14	5	13	1			19				
4.51	244	13.05	78.7	90.8	0.794	1.76	2	12	4		1	17	2			
4.70	259	13.06	78.4	90.3	0.793	1.51	4	10	3	2		16	3			
3.89	242	12.39	77.4	86.8	0.776	6.06	2	14	3			1	14	4		
3.75	230	12.34	78.1	87.8	0.783	6.26	6	7	3	2	1	1	9	6	2	1
4.19	283	12.51	78.4	85.2	0.781	6.40	6	5	4	1	3		12	7		
3.94	247	12.62	81.1	87.2	0.778	6.81	11	6	2			5	7	4	3	
3.22	186	12.56	77.2	87.7	0.776	8.12	7	6	6			4	8	7		
4.32	241	12.73	75.9	93.2	0.785	6.50	2	8	7	2		7	5	4	3	
4.00	223	12.81	76.1	94.1	0.787	6.48	6	10	3			6	6	3	3	1
4.62	269	12.66	78.3	92.8	0.781	7.55	14	3	1	1		7	9	2	1	
4.76	286	12.78	75.7	91.6	0.783	5.36	10	6	3			10	5	2	2	
3.84	201	12.74	76.3	90.3	0.780	7.18	8	3	1	7		9	8	2		
4.11	235	12.74	75.3	91.1	0.799	4.13	7	7	4	1			18	1		
4.48	264	12.69	73.8	89.3	0.799	4.13	5	9	3	2			17	2		
4.32	253	12.53	74.1	90.6	0.798	4.51	4	11	4				16	3		
4.67	283	12.87	77.3	90.8	0.793	5.67	5	8	1	4	1		14	5		
3.20	157	12.81	75.6	92.0	0.783	6.23	1	2	5	10	1		15	2	2	
4.00	234	12.74	73.0	91.2	0.789	6.59	3	8	7	1			16	3		
4.18	272	12.81	75.7	87.0	0.793	5.80	4	8	5	2			13	2	2	2
4.13	254	12.79	74.8	92.5	0.795	5.66	5	8		2	4	16	3			
5.02	322	12.85	75.4	88.2	0.792	6.06	16	3				9	6	3	1	
3.74	202	12.70	75.6	92.6	0.783	6.51	12	7				4	15			
3.43	169	12.52	74.5	94.7	0.787	5.84	15	4				4	14	1		
3.96	218	12.90	77.0	94.6	0.778	7.97	17	1	1			10	9			
4.02	216	12.96	76.6	95.8	0.775	8.52	18	1				9	9	1		
4.09	250	13.02	76.9	94.6	0.770	9.09	11	8				18	1			
3.87	229	12.93	76.7	94.7	0.778	7.97	15	4				18	1			
4.19	260	12.94	76.9	94.1	0.776	8.25	16	3				12	6	1		
4.57	244	12.88	78.0	91.8	0.780	8.59	16	1	2			10	6	3		
4.50	266	12.74	80.3	93.2	0.772	7.90	7	11	1			6	8	5		
4.44	263	12.82	79.5	91.6	0.777	7.08	9	9	1			14	5			
4.23	255	12.64	78.0	91.1	0.779	6.93	11	7	1			15	3	1		
4.19	252	12.64	78.4	93.0	0.778	7.07	16	3				10	7	2		
4.14	234	12.78	80.3	95.0	0.771	9.21	4	14	1			16	3			
4.59	261	13.03	79.2	95.0	0.777	7.08	4	13	2			16	3			
4.05	236	12.70	79.9	94.7	0.773	9.06		13	6				4	14	1	
3.56	200	12.56	78.1	96.4	0.770	— 8.70	8	10	1			9	8	1	1	
4.30	259	12.48	77.6	93.0	0.771	8.17	8	10	1			8	10	1		
3.96	229	12.50	76.7	93.8	0.765	8.10	8	7	4			17	1	1		
3.24	177	12.45	76.6	92.0	0.775	6.19	16	3				17	2			

Table 2. (つづき) (Continued)

試料 Sample	寿命試験 Fatigue life test				8,000回往復試験 8,000 cycles fatigue test				新 New wire
	往復回数 Cycles to life (回)	伸び率 Elongation (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^8$ kg)	切断エネルギー Breaking energy (kg·m/m)	断線数 Number of broken wires (本)	伸び率 Elongation (%)	切断荷重 Reserve breaking force ($\times 10^8$ kg)	切断エネルギー Breaking energy (kg·m/m)	切断荷重 Breaking force ($\times 10^8$ kg)
3-2R-5	9,500	1.09	1.36	2	10 (8)	0.64	5.18	141	9.83
1-2S-1	6,300	0.36	7.99	69	8 (8)	0.36	3.07	12	9.66
2	6,800	0.27	4.70	5	9 (9)	0.27	6.72	62	9.53
3	7,500	0.27	6.75	68	4 (4)	0.23	6.23	54	9.43
4	6,900	0.32	6.24	58	13 (13)	0.32	4.90	34	9.23
5	7,000	0.32	5.12	36	4 (4)	0.27	3.80	12	9.57
11	6,700	0.27	6.95	80	16 (13)	0.32	6.75	74	9.05
12	9,100	0.27	6.52	64	20 (14)	0.36	7.25	89	9.04
14	7,000	0.23	7.11	68	16 (14)	0.32	6.85	63	9.36
15	7,700	0.32	7.19	70	8 (4)	0.23	6.62	56	9.07
2-2S-5	8,850	0.27	6.97	53	6 (5)	0.23	8.05	74	8.92
6	9,100	0.27	6.64	46	7 (7)	0.27	7.20	64	8.59
7	10,350	0.27	5.93	34	3 (3)	0.18	7.35	65	8.61
3-2S-1	8,430	0.50	2.06	8	5 (4)	0.41	3.78	17	9.12
2	9,600	0.50	3.62	17	13 (12)	0.36	5.04	36	9.13
3	9,400	0.45	3.50	15	4 (4)	0.32	4.26	24	9.38
4	8,550	0.55	4.06	22	18 (6)	0.50	4.74	29	8.87
5	9,600	0.59	2.36	10	4 (1)	0.36	5.00	55	8.83
1-2T-1	8,100	0.64	4.90	31	33 (0)	0.59	3.36	17	9.54
2	9,000	0.82	3.64	23	29 (0)	0.64	4.55	29	9.55
3	9,500	0.59	4.45	29	3 (3)	0.41	7.70	91	9.40
4	6,500	0.59	5.42	36	40 (0)	0.68	4.42	33	9.47
5	7,100	0.64	4.55	26	50 (0)	0.68	3.00	14	9.53
6	9,000	0.41	6.73	58	12 (12)	0.41	7.50	83	9.14
7	7,500	0.59	4.38	24	50 (0)	0.73	2.45	12	9.63
13	11,200	0.41	4.36	22	2 (2)	0.32	6.62	53	9.19
14	13,200	1.00	1.15	4	5 (5)	0.55	6.38	52	9.31
2-2T-6	11,600	1.00	0.70	3	49 (1)	0.59	1.24	5	9.34
7	9,200	1.05	0.76	2	50 (0)	0.73	1.58	5	9.54
8	8,890	0.86	0.96	2	6 (6)	0.64	2.48	7	9.76
3-2T-1	9,250	0.50	1.32	4	1 (0)	0.36	2.98	2	9.35
2	11,600	0.32	3.16	14	3 (3)	0.23	8.06	108	8.89
3	10,500	0.36	5.52	34	6 (6)	0.27	7.72	92	8.75
4	11,400	0.23	4.62	28	1 (1)	0.36	7.04	66	8.64
5	10,650	0.91	2.90	1	4 (0)	0.82	3.10	12	9.31
3-2U-1	9,680	0.50	1.40	4	2 (2)	0.41	3.84	19	8.96
2	8,440	0.86	0.76	1	1 (1)	0.32	3.20	12	8.71
3	9,480	0.45	3.02	13	10 (10)	0.36	3.42	16	8.68
4	8,598	0.77	0.64	1	2 (2)	0.32	3.62	17	8.61
5	8,150	0.45	1.70	4	11 (11)	0.36	3.32	15	8.59
3-2W-1	9,500	1.27	0.94	3	7 (2)	0.68	3.09	15	8.58
2	9,050	0.64	1.52	4	6 (1)	0.36	5.32	35	8.61
3	8,600	0.64	1.70	5	1 (1)	0.50	2.44	8	8.59
4	9,120	0.45	2.24	9	2 (2)	0.36	5.08	29	8.56
5	9,200	0.59	2.04	7	2 (2)	0.36	5.08	34	8.63

(注) 表中の () は山断線の数を示す。

品切断試験 rope tensile test		製品検査 Wire rope inspection																	
伸び率 Elongation (%)	切断エネルギー Breaking energy (kg·m/m)	鋼索直径 Wire rope diameter (mm)	ピッチ Wire rope pitch (mm)	型付率 Preforming percentage (%)	外層線の径 Diameter of outlayer (mm)	内層線の増径率 Enlarging ratio of innerlayer (%)	脱炭 Decarburization					表面あらさ Roughness of wire surface							
							A	B	C	D	E	A	B	C	D	E			
3.80	233	12.63	78.1	92.3	0.775	5.55	19					12	6	1					
3.96	253	12.57	79.5	90.1	0.792	0.25	18	1				10	9						
3.72	220	12.45	79.4	88.9	0.803	0.12	17	2				6	7	3	3				
3.22	173	12.45	79.0	92.4	0.794	0.50	16	2	1			5	7	3	4				
3.45	208	12.53	79.2	91.5	0.796	0.13	12	7				6	5	5	2	1			
3.68	219	12.62	79.5	89.8	0.797	0.25	15	4				5	11	3					
3.90	223	12.46	78.5	93.3	0.792	0.25	17	2				5	3	9	2				
3.32	177	12.51	78.0	92.2	0.793	-1.01	11	7	1			11	6	2					
2.94	158	12.51	79.5	93.8	0.791	-0.02	15	4				19							
2.73	137	12.56	79.2	93.1	0.794	-0.03	18	1				8	7	4					
2.36	119	12.52	78.2	88.6	0.793	5.55	1	2	7	7	2		15	4					
2.38	111	12.59	77.3	91.2	0.792	6.19		5	6	7	1		14	5					
2.44	114	12.62	77.4	91.0	0.798	5.64	1	2	10	5	1		11	7	1				
3.74	221	12.65	71.0	94.0	0.804	-2.24	14	4	1				19						
3.78	215	12.60	71.7	90.0	0.801	2.75	14	5					18	1					
3.87	221	12.57	71.6	92.6	0.803	1.25	15	4					9	8	2				
3.49	180	12.61	70.2	89.9	0.796	4.02	13	6					14	3	2				
3.93	231	12.63	72.3	94.5	0.793	4.92	15	1	1	2			17	1	1				
4.78	285	13.05	80.9	95.9	0.804	3.48	10	8	1				8	8	3				
5.14	328	12.97	80.6	94.5	0.805	3.48	8	10	1				12	6					1
3.83	251	12.87	81.0	94.0	0.794	1.76	19						10	7	2				
4.17	239	12.90	80.2	95.7	0.803	2.49	16	3					16	3					
4.50	289	12.94	80.1	96.3	0.799	4.13	13	1	4	1			16	3					
3.58	221	12.44	79.7	94.6	0.798	3.13	19						13	6					
5.13	325	12.89	80.0	94.3	0.800	4.50	15	2	2				13	5	1				
4.12	250	12.56	80.5	95.3	0.795	4.53	11	6	2				9	9	1				
4.80	292	12.81	80.4	94.0	0.795	3.52	12		7				8	11					
4.22	272	12.62	80.8	91.8	0.807	3.59	17	2					13	4	2				
4.48	296	12.74	81.1	95.8	0.806	3.85	17	2					15	4					
4.57	317	12.69	81.0	91.9	0.806	3.10	6	5	7	1			11	8					
3.83	256	12.60	84.2	96.7	0.802	3.62	18		1				7	11	1				
2.68	155	12.05	76.7	90.0	0.776	5.80	13	4	2				13	6					
2.76	150	12.22	76.0	93.9	0.774	5.81	16	3					16	2	1				
3.18	177	12.16	76.1	94.5	0.778	6.04	15	4					4	9	3	3			
4.23	240	12.54	74.1	92.1	0.775	5.68	19						2	14	3				
3.22	180	12.43	75.8	95.6	0.783	8.17	3	9	6	1			11	6	2				
3.99	236	12.33	76.5	91.9	0.788	5.33	6	4	3	6			19						
3.86	236	12.34	75.9	92.5	0.789	5.20	4	6	6	3			19						
4.10	249	12.36	76.7	93.2	0.789	5.20	12	1	2	4			1	18					
3.65	215	12.35	76.3	92.8	0.789	4.94	9	6	3	1			1	18					
4.19	219	12.98	73.8	93.2	0.782	7.42	17	2					16	3					
4.12	254	12.39	74.5	91.8	0.775	7.35	15	3	1				4	12	3				
4.08	247	12.39	74.3	91.6	0.775	7.10	18			1			6	13					
3.96	229	12.42	74.8	91.3	0.775	7.10	16	3					9	8	2				
4.27	263	12.36	75.0	92.6	0.775	7.23	17	2					10	7	2				

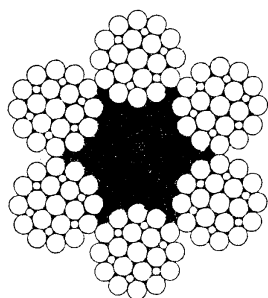


Fig. 2 供試ワイヤロープ
Test wire rope.
6×Fi (25)
フィラー形 25 本線 6 より中心繊維
JIS G 3525 12 号

実施時期	試料の数	
	社	本
第 1 回	昭和 42, 43 年	6 社 88 本
第 2 回	“ 44, 45 年	8 社 57 本
第 3 回	“ 46, 47 年	8 社 40 本
合計		9 社 185 本

6×Fi (25) ワイヤロープは、架空線集運材装置の中では、作業索として 6×19 ワイヤロープとともによく使われる種類のものである。これら 2 種類のワイヤロープの間には、その構造および性質に特徴的な相違がある。

6×19 ではストランド内の 2 層のワイヤを、層ごとにより合わせて製作される。各層のより角は等しく、ロープにより込まれている各ワイヤの長さも等しく、荷重が軸方向に作用した時の各層のワイヤに生じた応力を均等にするようによられたものである。このため各層のピッチはそれぞれ異なり、各層の素線は交差して相互に点接触している。

これに対してフィラー型に属する 6×Fi (25) では、ストランド下層の素線の谷間に、上層の素線が正しく重なるように、外層と内層の隙間に内層素線と同数の細かいフィラー線を充填し、すべての素線を同じピッチで同時によったものである。したがって、各層のより角とワイヤの長さは外層ほど大きくなり、素線は相互に線接触している。このため 6×Fi (25) は耐曲げ疲労性にすぐれ、強い横方向の圧力にも耐え、多少無理な使用状態にあっても型崩れしにくく、寿命が長いとされている。

2. 試験結果

試験の結果の概要を、データ (I) とデータ (II) に分けて、それぞれ Table 1 と Table 2 に示す。

データ (I) と (II) の区分は、疲れ試験のうち寿命試験における、断線の検査方法の違いによるものである。データ (I) の寿命試験では、試験機にとりつけた供試ワイヤロープを、素線断線を調べるたびに試験機からとりはずし、手で曲げながら断線を探して数えた (かりにこれを「手曲げ検査」と呼ぶ)。これに対しデータ (II) では、供試ワイヤロープを試験機からとりはずさず、張力を負荷したままの状態、外観から認められる断線のみを数えるという方法によった。この断線検査の方法の相異は、寿命試験の結果に明らかな差をもたらした。

したがって以下の分析においては、寿命試験の結果についてはデータ (I) と (II) を区別して扱わねばならない。寿命試験以外の試験や測定の結果は、全く同一の方法によるものであり区別する必要はない。

表中の供試ワイヤロープを表わす記号のうち、最初の数字は第 1 回から第 3 回までの試験時期を、2 番目の数字 2 はワイヤロープの構成が 6×Fi (25) であることを、つぎの M から W までのアルファベットは製造会社の区別を、最後の数字は会社ごとの試料番号を、それぞれ示している。

3. 考 察

3.1 寿命試験結果の整理

2章で述べたように、寿命試験における索線断線の検査方法の差にもとづき、データ (I) と (II) に区分したが、この寿命値の平均値と分散について差の検定を行って、両者の間に明らかな差があることがわかった。

	(I)	(II)
サンプルの数	$n_1=93$	$n_2=92$
寿命値の平均値	$\bar{N}_1=7,653$	$\bar{N}_2=9,560$
寿命値の分散	$V_1=2,216,728$	$V_2=3,793,492$

両グループの分散の比をとって、 F 分布による検定をすると、

$$F = V_2/V_1 = 1.711$$

$$F(92, 93, 0.025) = 1.55$$

となり、有意水準 5% で 2 組の分散に差があるといえる。

また両グループの平均値の差を、Welch の方法⁹⁾によって検定すると、

$$t = (N_1 - N_2) / \sqrt{V_1/n_1 + V_2/n_2} = -7.47$$

$$c = (V_1/n_1) / (V_1/n_1 + V_2/n_2) = 0.3663$$

$$1/f = c^2/(n_1-1) + (1-c)^2/(n_2-1) = 0.00587$$

$$\therefore f = 170.3$$

となる。自由度 170 の t 分布の限界値と上で求めた t の値を比較すると

$$t(170, 0.01) = 2.62 < 7.47$$

となり、2 組の平均値の間には有意な差があるといえる。

3.2 寿命値の分布

寿命値の確率密度関数の型として、正規分布、対数正規分布、ワイブル分布の 3 つを仮定して、データ (I)、(II) の寿命値の分布のあてはめを試みた。適合度の検定は χ^2 -分布検定によった¹⁾。それぞれの結果を Fig. 3, 4 に示す。

これらの結果から判断すると、データ (I) については対数正規分布が、データ (II) についてはワイブル分布が、それぞれ比較的よく適合している。しかし、他の分布の型にもある程度適合しており、一つの型のみで断定することはできない。ほかの疲れ試験の結果との関連において、あるいは分布の型として表現する目的に応じて、それぞれの分布の型を選びそのパラメーターを考慮することで、寿命値の確率密度関数を表わすことができると考えられる。

3.3 寿命に達したワイヤロープの残留強さ

「1 より長さの間に 12 本の索線断線」を寿命判定の基準とした今回の寿命試験においては、寿命に達したワイヤロープは破断しているわけではなく、引張り強さを残している。この残留強さの頻度分布を Fig. 5 に示す。

Fig. 5 から寿命時の残留強さにおいて、データ (I) とデータ (II) の間に、あきらかな差があることがわかる。残留強さの平均値はデータ (I) では 6.481×10^8 kg、データ (II) では 2.677×10^8 kg で

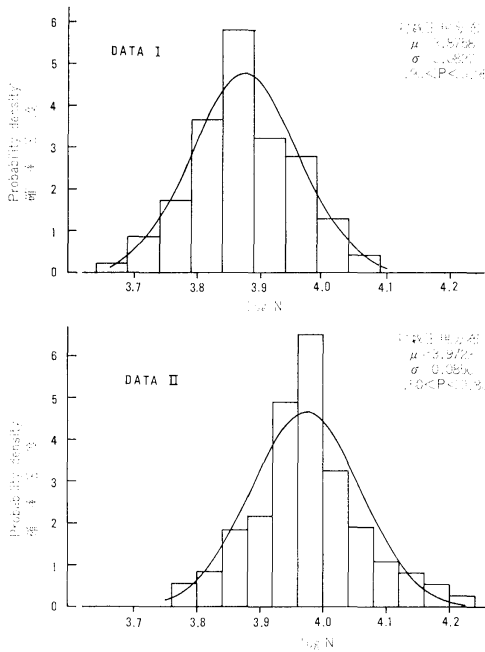


Fig. 3 寿命値の分布 (対数正規分布)
Distribution of fatigue life (logarithmic normal distribution).

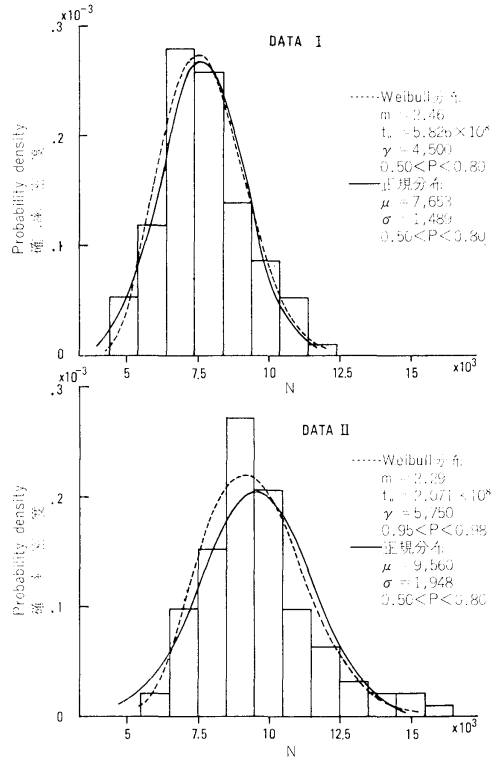


Fig. 4 寿命値の分布 (ワイブル, 正規分布)
Distribution of fatigue life (Weibull and normal distribution).

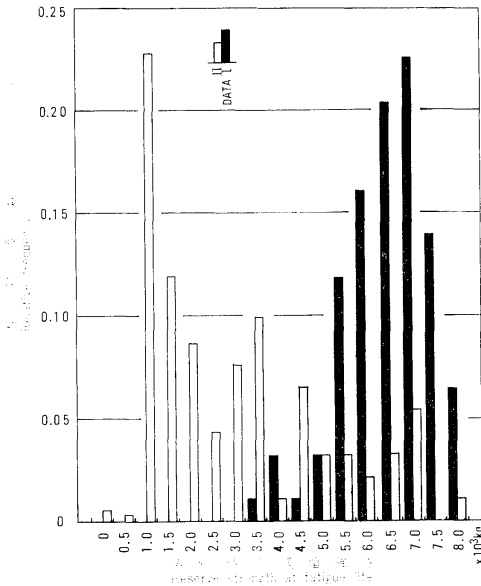


Fig. 5 寿命時の残留強さ頻度分布
Frequency distribution of reserve breaking force at fatigue life.

あり、データ (II) のばらつきが大きい。このような平均値とばらつきの差は、索線断線の検査方法の違いによるものと考えられる。すなわち、2章に述べたようにデータ (I) の場合には手曲げ検査によつたために、外部から見えにくい谷断線もよく探し出して数えることができた。一方、データ (II) の場合には外観に現われて数えられた断線のほか、谷断線など外観に現われない断線がかくされている比率が高い。したがって寿命に達した時点ではデータ (I) の場合に比べて、その残留強さが小さくなっている。データ (II) における断線の計数の方法は、データ (I) に比べてあいまいさが大きいといえる。このことはまた、寿命値と寿命時の残留強さの関係についてもみられる。

寿命値と寿命時の残留強さの相関関係を調べる

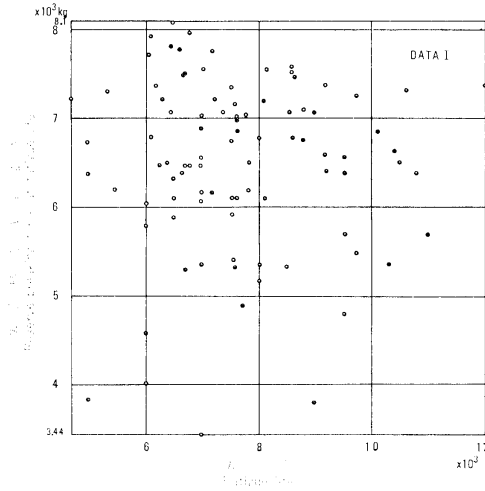


Fig. 6 寿命と寿命時の残留強さ (データ I)
Relation between fatigue life and reserve breaking force (Data I).

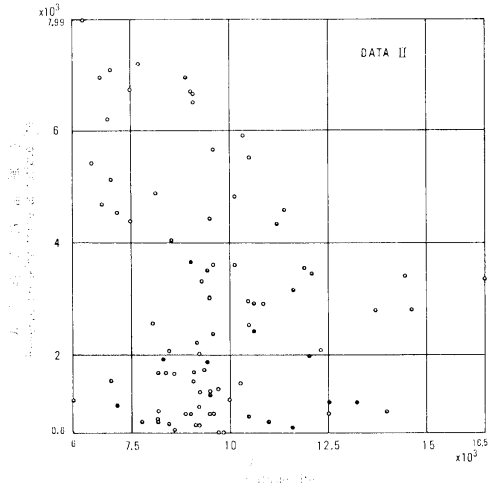


Fig. 7 寿命と寿命時の残留強さ (データ II)
Relation between fatigue life and reserve breaking force (Data II).

と、データ (I) ではこれら2つの間に関係を認めることはできないが、データ (II) では負の相関関係が推測できる (Fig. 6, 7)。寿命値が小さいものはその残留強さが大きく、寿命値が大きいものはその残留強さが小さい。このことはつぎのように説明することができるだろう。試料のワイヤロープに外から見えない内部断線または谷断線が生じていても、寿命と判定されるまでにはさらに曲げ往復回数を重ね、寿命値は大きくなるが残留強さは低下する。また反対の場合には、外観から見える所に生じた断線によって、寿命と判定された時期が早ければ、他の内部断線などが少なく、その結果として寿命値は小さくその残留強さは大きい。

今回の試験における2通りの方法による結果は、ワイヤロープ疲れ試験における寿命判定の方法として、索線断線の数を基準とした場合に、索線断線数の検査方法が試験結果に及ぼす影響が大きいことを示している。

3.4 8,000回往復試験後の残留強さ

寿命試験と同じ試験条件のもとで、8,000回往復試験を行った。この試験結果はデータ (I) とデータ (II) の区別はなく同一にあつかうことができる。試験時期ごとに第1回から第3回に区分して、8,000回往復試験後の残留強さのヒストグラムを Fig. 8 に示す。各回の平均値はそれぞれ 5.58, 5.01, $4.01 \times 10^3 \text{ kg}$ であり、全平均は

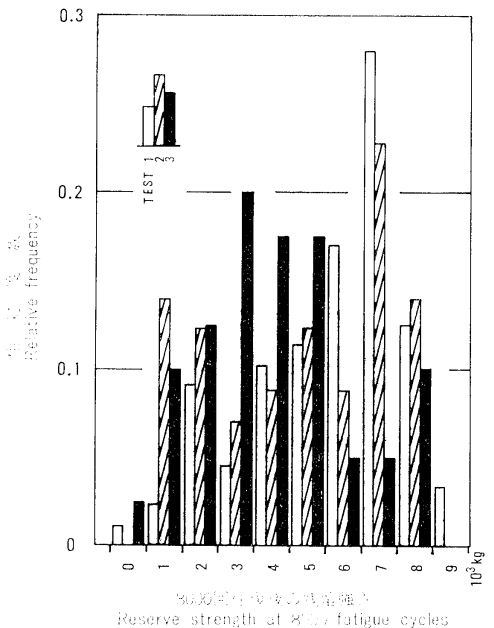


Fig. 8 8,000回往復後の残留強さ頻度分布
Frequency distribution of reserve breaking force after 8,000 fatigue cycles.

$5.07 \times 10^8 \text{ kg}$ である。

この中で第3回の平均値が他より小さいことは、図から推定できる。統計的な平均値の差の検定結果も有意な差のあることを示している。このような差ができた理由は、サンプルとしたワイヤロープの選び方にあると考えられる。すなわち、第3回の試験では製造会社8社の製品を、5本ずつ均等にサンプルとして選んだ。このため第1回と第2回ではほとんど含まれなかった3社の製品が加わることとなった。この3社のワイヤロープの試験結果は、いずれもその残留強さが小さく、その結果として第3回の平均値が低下したとみられる。製造会社間の比較については3.6で述べる。しかし、今回の結果は同一のJIS規格で示されるワイヤロープの試験結果として、そのばらつきの大きさを示しているともみることできる。

各回ごとにその内容を見ると、残留強さの値は、ほとんど破断してしまった状態である 0 kg から、新品時の破断荷重に近い $9 \times 10^8 \text{ kg}$ まで、広い範囲に分布している。これは製造会社間の差があることと同時に、 $6 \times \text{Fi}(25)$ ワイヤロープの特徴を示しているといえる。

つぎに8,000回往復後の強さを寿命との関連でみてみよう。ごく一般的に考えて耐疲労性にすぐれたワイヤロープは、寿命試験における寿命は長く、8,000回往復後の残留強さも大きいだろうと予想される。試験結果からこの関係を相関図として表わすと、データ(I)、データ(II)のそれぞれについて、Fig. 9, 10となる。相関係数は0.55および0.50であり、両者の間に高い相関関係があるとはいえない。高い相関関係が予想されたにもかかわらず、試験結果にはっきり現われなかった理由の一つは、3.3に述べたような寿命とその残留強さのばらつきの大きさであると考えられる。

8,000回往復試験後の残留強さと寿命は、ともにワイヤロープの耐疲労性を表わしているものであるが、今回の試験結果からみれば、両者がよく一致しているとはいえない。寿命判定の基準の改善あるいは8,000回という往復回数の変更などにより、さらによい結果が得られるかも知れない。しかし現段階では、8,000回往復後の残留強さと寿命は、いずれか一方の結果で代表できるものではなく、両方の結果をあわせて耐疲労性を考えることが適当であろう。

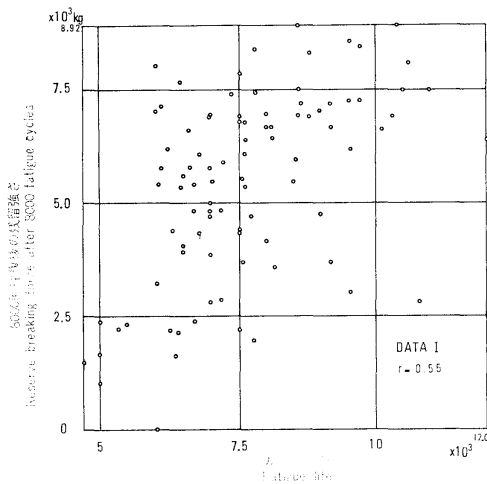


Fig. 9 寿命と8,000回往復後の残留強さ (データ I)

Relation between fatigue life and reserve breaking force (Data I).

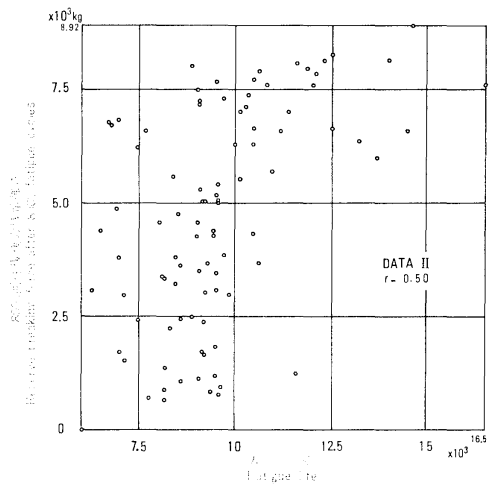


Fig. 10 寿命と8,000回往復後の残留強さ (データ II)

Relation between fatigue life and reserve breaking force (Data II).

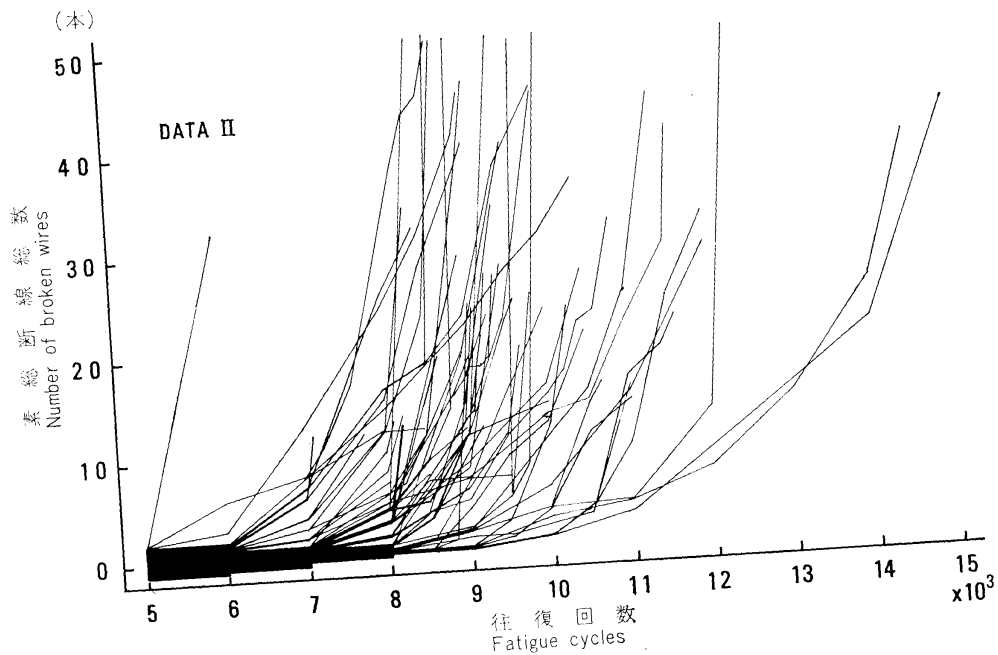


Fig. 11 素線断線の増加 (総断線数)
Increase of broken wires (in total test wire rope length, 125cm), according to fatigue cycles.

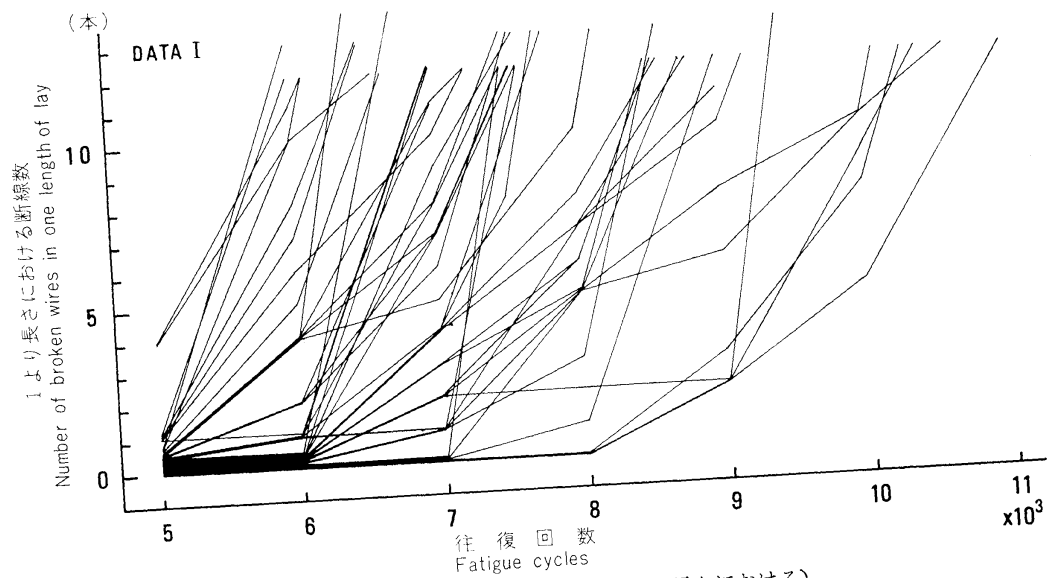


Fig. 12 素線断線の増加 (1より長さにおける)
Increase of broken wires (in one length of lay), according to fatigue cycles.

3.5 素線断線の発生経過

ワイヤロープの疲れ試験における疲れの進行は素線の断線となって現われ、その数が増加する。往復回数と素線断線数の関係を、供試ワイヤロープに現われた総断線数、1より長さの間に現われた断線数、および断線の発生位置により分類した谷断線と山断線の数について述べる。

疲れ試験機にとりつけられた供試ワイヤロープは、その中央部分125 cmが試験機のS曲げ装置の滑車と接する。この間に生じたすべての素線断線の数と、繰り返し曲げを受けた回数(往復回数)の関係をFig. 11に示す。これは寿命試験データ(Ⅱ)の中で、素線断線についての記録が得られた56例にもとづいている。断線の測定方法は、試験機の運転を止めて外観から数えたもので、供試ワイヤロープを試験機からとりはずすこと、および手で曲げること(手曲げ検査)はしなかった。図からわかるように、初めての断線は往復回数6,000~8,000回の間には発生しているものが多く、初断線が生じるとそれ以後断線数は急激に増加し、往復回数8,000~10,000回程度で総断線数25~50本以上となり、この時1より長さの間の断線数が12本となって、寿命に達したと判定されるものが多い。少数の寿命値が特に大きいものは、断線の発生が徐々に進行し、しかも総断線数が相当多くなってはじめて、1より長さに12本となり寿命に達している。寿命に達した時点での総断線数は平均30.1本であり、このうち11.2本は山断線でその他は谷断線であった。

つぎに供試ワイヤロープのS曲げ滑車に接する部分の中で、もっとも断線数の多い1より長さを探して、その間の断線数を往復回数との関係で示したものがFig. 12である。これは寿命試験データ(Ⅰ)のうち、記録が得られた44例から作成した。これはすべて手曲げ検査によって断線数を調べている。5,000回往復までに断線が生じる例はごく少ないが、7,000回までにほとんどの場合に断線が生じ、それ以後の増加は著しい。この場合の断線の種類は、ほとんどが谷断線であり、山断線は平均0.94本が含まれているにすぎない、しかも山断線がとくに多く現われた数例をのぞけば、山断線はほとんどの場合に発生していない。

総断線数と1より長さの間における断線についての試験結果から、山断線と谷断線の関係をみると、つぎのことがわかる。ワイヤロープの疲れの進行にともなう断線の発生は今回の試験条件下では谷断線が最初である。この谷断線は手曲げ検査によらなければ見付けにくい。さらに往復回数が増すにしたがって山断線も生じる。手曲げ検査によらないときには、これが初期断線とみなされることもある、データ(Ⅱ)の中で1より長さの間の断線数を調べた結果によれば、外観から寿命と判定した時の断線数は平均12.5本であったが、このうち山断線は約4本である。これを試験機からはずして手曲げ検査によって、最も断線数の多い1より長さの間の断線数を調べると、平均20.6本に増加した。この増加分はすべて谷断線であった。

素線断線の数とその調べ方によって異なることは、8,000回往復試験における結果からもわかる。8,000回往復試験を終了した時点で、試験機にとりつけたままの状態で断線数を調べた場合、試験機からはずして張力を除いた場合、およびさらにこれを手曲げ検査した場合について1より長さの間の断線数の比較をFig. 13に示す。試験機からとりはずし無負荷とした場合に断線数が増加すること、そしてこれを手曲げ検査することによりさらに増加することが明らかである。ここでも断線の増加はいずれの場合も、ほとんどすべて谷断線によるものであった。

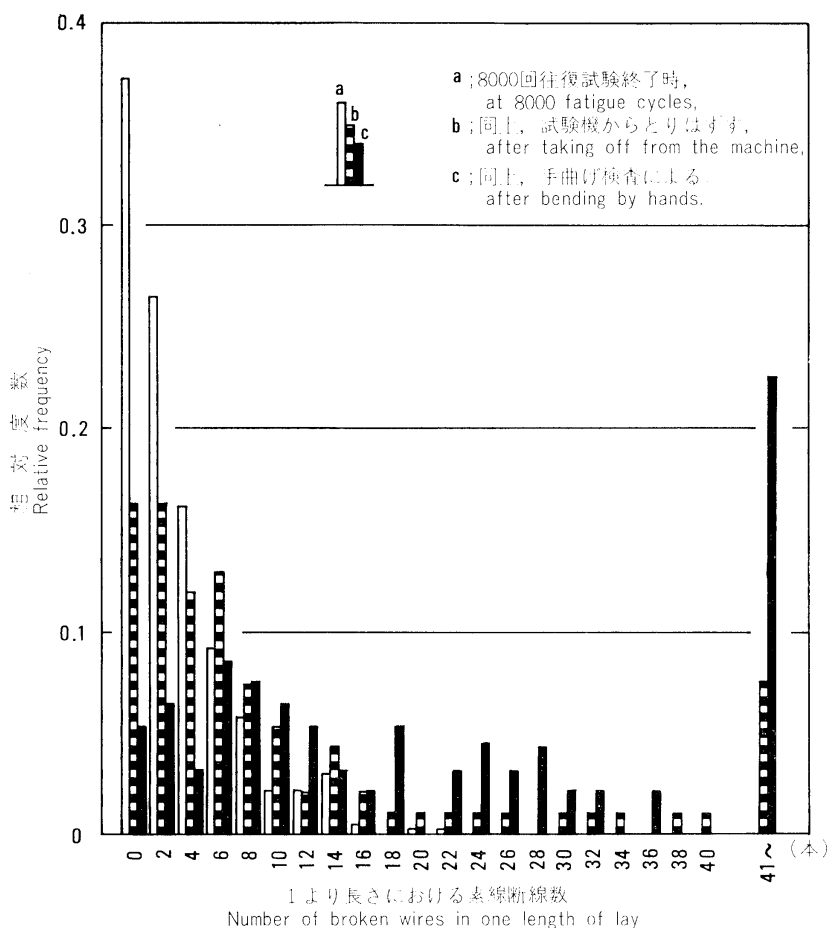


Fig. 13 手曲げ検査による素線断線の増加
Relative frequency of numbers of broken wires in one length of lay, checked by different methods, at 8,000 fatigue cycles.

3.6 寿命と 8,000 回往復後の残留強さの製造会社間の比較

疲れ試験における結果を製造会社ごとにグループ分けし、このグループ間の比較を試みた。グループの区分は Table 1, 2 の中で試料番号に示したアルファベット M~W によった。各グループのほか全体を一括して Total として比較の対象に加えた。寿命値についてはデータ (I) とデータ (II) に分けて、8,000 回往復後の残留強さについてはデータ (I) とデータ (II) を合わせて、平均値および分散の差の検定を行った。Fig. 14, 15 は縦軸にそれぞれ寿命値および 8,000 回往復後の残留強さを、横軸にはともに変動係数をとって、各グループの数値をプロットしたものである。座標を示す線の交点が Total の平均値と変動係数を示している。

(1) 寿命値について (Fig. 14)

分散の差の検定を行った結果は、データ (I) の中には有意な差は認められなかった。データ (II) の中では、P と S, M, W, U, N, Q の間、R と M, W, U, N, Q の間に有意な差がある。P と R は

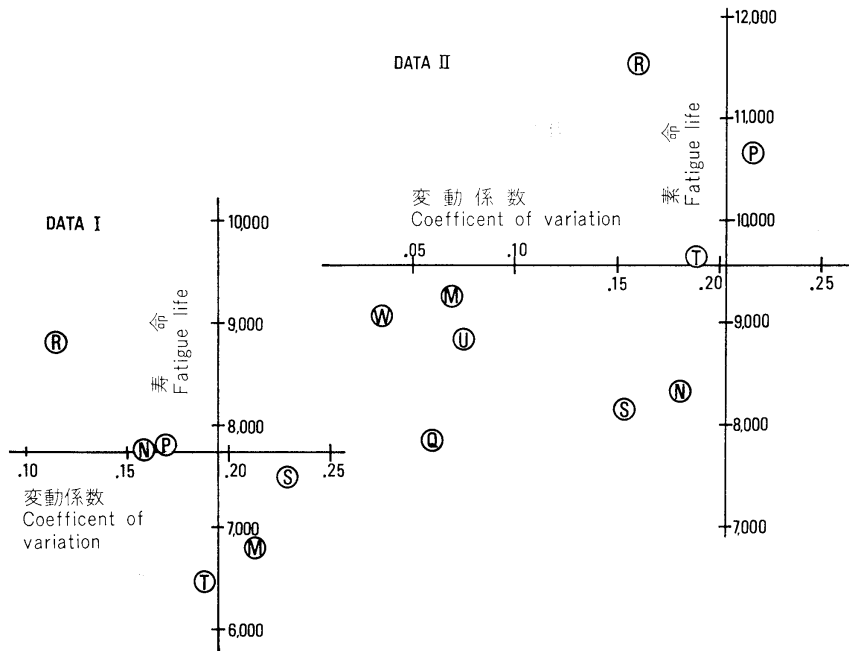


Fig. 14 製造会社間の寿命比較
Comparison of fatigue life between manufacturers'.

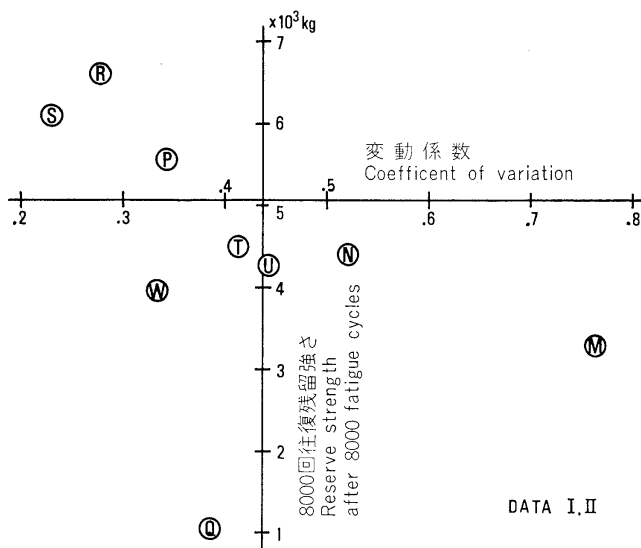


Fig. 15 製造会社間の 8,000 回往復残留強さ比較
Comparison of reserve breaking force after 8,000 fatigue cycles between manufacturers'.

他と比べて分散が大きく、W、Q は小さいといえる。

平均値の差の検定の結果によれば、データ (I) の中では R と S、M、T の間、T と P、N、R の間以外には有意な差はない。データ (II) では、R と P 以外のすべてとの間、P と S、W、U、N、Q の間、S と P、M、W、R との間、および Q と S 以外のすべてとの間に有意な差が認められる。すなわち、概略的には R、P は平均値が大きく、S、Q は小さいとみなすことができる。

平均値と変動係数を合わせて

考えると、Fig. 14 で示す座標の上では、平均値は大きく変動係数は小さいもの、すなわち左上方にあるものが、疲れ試験の結果として耐疲労性にすぐれていることを示している。この考え方によれば、データ (I) の中では R がもっともすぐれており、つぎに P、N があり、S、M、T がつづいている。データ (II)

は、はっきりした傾向を示していない。P, R の平均値が大きく、M, W, U は平均値は中程度で変動係数は小さい。Q は平均値と変動係数ともに小さい。

データ（Ⅰ）とデータ（Ⅱ）では、試験方法が若干異なっており、それぞれに含まれた試料が同一でないこともあり、両方の結果は一致していない。しかし、全体的にみて R と P がいずれの場合も寿命が長い傾向は共通している。

（2） 8,000 回往復残留強度について（Fig. 15）

分散の差の検定を行った結果、Q が他のすべてとの間に、S は P, M, T, Q との間に有意な差があり、これ以外の間には有意な差がなく、Q と S の分散が他より小さいといえる。平均値の差についてみると、Q が他のすべてのものより小さいこと、S と R が P, M, W, U, N, T, Q より大きいことがみとめられた。残留強さの平均値と変動係数との関係を見ると、Fig. 15 に明らかなように、平均値が大きく変動係数が小さいものとして S, R があげられる。P はこれらにつき、W, U, N, T は平均値、変動係数とともに全体の中で中間的な値のところにある。Q は平均値が極端に小さく、M は変動係数が著しく大きい。

寿命値と 8,000 回往復残留強さはそれぞれ耐疲労性を示す測定値であるから、これらの間に相関関係を予想することができる。すなわち、寿命値が大きいものは 8,000 回往復残留強さも大きいと考えられる。しかし今回の試験の結果はこのような関係を明確に示していない。寿命値と 8,000 回往復残留強さを加味して各会社間の差を示すため、判別関数による区分も試みたが、十分に区別することにはならなかった。したがって寿命値と 8,000 回往復残留強さの間を正確に説明することはできない。寿命試験におけるデータ（Ⅰ）、データ（Ⅱ）および残留強さの 3 つの試験を含めて製造会社の比較を考えると、R, P はいずれの場合にもすぐれた耐疲労性を示しているといえるだろう。

3.7 ワイヤロープの耐疲労性に影響をおよぼす要因

測定値の相互の関連、とくに疲れ試験結果との関係を知るために相関図を作り相関関係を調べた。

新品のワイヤロープに関する各測定値の間では、切断試験におけるのび率と切断エネルギー（相関係数 0.93）、切断荷重と切断エネルギー（0.47）、のび率と索直径（0.46）に関連がみられる。

寿命試験に関する測定値の間では、総断線数と残留強さの間に相関があり（データ（Ⅰ）では -0.47、データ（Ⅱ）では -0.67）、その残留強さは残留エネルギーと相関が高い（0.87, 0.94）。

8,000 回往復残留強さ試験の測定結果についてみると、残留強さは索断線数との相関係数が -0.60、残留エネルギーとは 0.89 である。試験中の伸びは残留強さと負の相関をもち、その係数は -0.44 である。

ワイヤロープの耐疲労性を示す測定値である寿命あるいは 8,000 回往復後の残留強さと、疲労試験によらない測定値、すなわち新品のワイヤロープから得られる測定値との関係が確かめられれば、耐疲労性を推定することが可能になると考えられるが、今回の試験結果をこの点について検討したところでは、単純な相関関係だけでは明確な関係を認めることができなかった。各要因の測定値のばらつきの幅は広く、相関図からも関係を推定できるものはなかった。

寿命との相関係数が高いものをあげると、データ（Ⅰ）の中では心線増倍率（0.40）、心線径（0.36）、切断試験ののび率（-0.32）、同エネルギー（-0.35）、外層線径（-0.32）となっている。データ（Ⅱ）の中では、内層線径（0.37）のほか関連はない。

8,000 回往復後残留強さについては、いずれの測定値との間にも傾向をみることはできない。

む す び

前報²⁾の6×19 (ワイヤロープ JIS 3号) にひきつづき、6×Fi (25) 12 mm (JIS 12号) を試料として、同様の疲れ試験と製品検査を行った。その結果はこれまでに述べたとおりであるが、前報の結果と対比してみるとこれら構成の異なる2種類のワイヤロープの特徴が明らかになる。

寿命値を比較すると6×Fi (25) の方が6×19より40~50%大きく、その変動係数はやや6×Fi (25) の方が大きく寿命のばらつきが大きい。寿命に達した時点での残留強さは、データ (I) ではほとんど同じ値を示しているのに対し、データ (II) では、6×Fi (25) の方が極端に小さくなっている。これは断線の検査方法のちがいに對するワイヤロープ構成の差が現われているといえる。このことはまた素線断線の種類および発生のしかたにも関係がある。

素線断線の発生の経過は6×19の方が比較的早期(寿命値の約60%)に初断線を生じ、以後しだいに増加する。一方6×Fi (25) では初断線の発生は6×19の場合よりおそく(70~75%)、それ以後断線の増加は急である。

素線断線の種類は、データ (I) ではほとんど谷断線であり、データ (II) については、6×Fi (25) では谷断線と山断線の比がおおよそ2:1であるのに対し、6×19では1:1となっている。

以上の比較から6×19に対比して、6×Fi (25) の特徴をつぎのように考えることができる。寿命値は大きい、ばらつきも大きい。そして素線断線は初断線が比較のおそく生じ、それ以後の断線の増加は急である。谷断線が多く、外観に現われにくいことがあり、時によっては残留強さが小さい場合がある。

また、製造会社間の差あるいは製品の差が生じやすいといえよう。

6×Fi (25) と 6×19 の比較

		6×Fi (25)	6 × 19
寿 命	データ (I)	7,653	5,211
	データ (II)	9,560	6,177
寿 命 の 変 動 係 数		約 20%	約 17%
寿命時の残留強さ	データ (I)	6,481 kg	6,547 kg
	データ (II)	2,767 kg	5,027 kg
素線断線の発生経過	データ (I)	初断線は5,000~7,000回 ほとんど谷断線	初断線は3,000回 山断線も少し生じる
	データ (II)	初断線は6,000~8,000回 谷断線と山断線は2:1	初断線は3,500~4,500回 谷断線と山断線は半々

引 用 文 献

- 1) 石川栄助：実務家のための新統計学，積書店，(1969)
- 2) 機械第1研究室・上松運輸営林署ロープ試験室：林業用鋼索の疲労に関する研究（第3報）作業索（6×19, JIS 3号）の疲れ寿命試験，林試研報，300，(1978)
- 3) 農林水産技術会議事務局監修：農林水産試験研究における数理統計学的手法の理論と応用，農林統計協会，(1966)
- 4) 上田 実・富永 貢：林業用鋼索の疲労に関する研究（第1報）作業索の繰返し引張り曲げ試験，

林試研報, 164, (1964)

- 5) 上田 実・斎藤敏彦・柴田順一: 林業用鋼索の疲労に関する研究 (第2報) 主索に関する疲労試験, 林試研報, 213, (1968)

Study on the Fatigue of Wire Rope for Logging (IV)
Fatigue life of operating rope (6×Fi (25) JIS No. 12)

Forest Machinery 1st Unit⁽¹⁾ and Wire Rope Testing Team,
Agematsu Transportation District Forest Office⁽²⁾

Summary

This report presents the results of wire rope fatigue tests on a kind of operating ropes that is used in cable logging systems. Fatigue tests on the wire rope that was a type of construction 6×Fi (25) o/o (6 strands of 19 wires and 6 filler wires each, with main core, bare steel wire, ordinary lay, orange oil, tensile strength of 165 kg/mm², breaking force specified of 7.99×10^3 kg) were conducted.

The experiments were planned on the basis of the results of the previous report (I). The testing machine and test conditions for this experiments were prepared as the same as that applied in the experiments on a wire rope 6×19 (JIS No. 3) of the previous report (III).

The samples for the fatigue tests were collected by the Forest Agency, Operating Div. from its logging sites. They were new articles and 30 meters in length. The number of those samples reached 185, consisting of nine different manufacturers' products.

We applied an inverse bending of exactly 90°, 180°, 90° (shown in Fig. 1), because it aggravated the tests somewhat, and it allowed better and quicker differentiations in results. The pitch diameter of three test sheaves were 190 mm, and the tension in a wire rope was 350 kg. The wire rope life was expressed in the number of fatigue cycles before the time when the amount of the broken wires on the test-piece increased to a limit. We adopted twelve broken wires in one length of lay of wire rope as the limit.

Besides the fatigue life tests to examine the wire rope lives, we also measured the reserve breaking forces of the wire ropes subjected to 8,000 fatigue cycles under the same condition as for the fatigue life tests.

The following observations were made on this series of tests.

1. The lives showed wide variations and were considerably influenced by the method of measurements for finding out and counting the number of broken wires. The lives of group (I) varied from 4,700 to 12,000, the average being 7,653. The lives of group (II), in which the measurement of broken wires was done on the testing machine only by external appear-

Received November 14, 1979

(1) Forest Mechanization Division

(2) Agematsu Transportation District Forest Office

ances, showed a wider variation of 6,000 to 16,500, the average being 9,560.

2. As an inspection of the distribution pattern of lives, the frequency distributions could be fitted well by the logarithmic normal distribution with the mean of 3.8758 and standard deviation of 0.0890 for the group (I), and with the mean of 3.9723 and standard deviation of 0.0850 for the group (II).

3. The reserve breaking forces of the wire ropes that had reached to the maximum allowable number of broken wires varied from 3.44 to 8.10×10^3 kg, the average being 6.48×10^3 kg for the group (I), and 0.00 to 7.99×10^3 kg, the average being 2.77×10^3 kg for the group (II).

4. The reserve breaking forces of the wire ropes subjected to 8,000 fatigue cycles varied from 0.0 to 8.92×10^3 kg, the average being 5.07×10^3 kg.

5. Significant differences in lives and reserve breaking forces between some manufacturers' wire ropes were clearly confirmed.